

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

09. 08. 2004

**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D 02 SEP 2004

WIPO

PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 103 39 595.4

Anmeldetag: 26. August 2003

Anmelder/Inhaber: Siemens Aktiengesellschaft,
80333 München/DE

Bezeichnung: Verfahren zur Vorhersage und Steuerung der
Vergießbarkeit von Flüssigstahl

IPC: B 22 D, G 01 N

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 29. Juli 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Strempel

Best Available Copy

Beschreibung

Verfahren zur Vorhersage und Steuerung der Vergießbarkeit von Flüssigstahl

5

10

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Vorhersage und Steuerung der Vergießbarkeit von Flüssigstahl durch Analysieren der chemischen Zusammensetzung einer zu vergießenden Schmelze, Durchführen einer Legierungsrechnung und Bestimmen von Legierungselementen und/oder Zuschlagstoffen zur Erzielung bestimmter Werkstoffeigenschaften des Stahls und Festlegen von Fahrdiagrammen für die weitere Behandlung der Schmelze.

15

20

30

35

Derartige Verfahren kommen bei der Stahlherstellung zum Einsatz. Der flüssige Stahl wird von einem Stahlwerk angeliefert. Anschließend wird in einem Pfannenofen, der einer Dünnbandgießanlage vorgeschaltet ist, die Sekundärmetallurgie durchgeführt. Dazu sind in beziehungsweise an dem Pfannenofen bestimmte sekundärmetallurgische Einrichtungen vorgesehen, um den Flüssigstahl metallurgisch zu behandeln. Mit diesen Einrichtungen können genaue Analysen der Schmelze vorgenommen werden, ebenso kann die Schmelze genau thermisch konditioniert werden. Die Behandlung des Flüssigstahls im Pfannenofen erfolgt durch die Zugabe von Legierungsmitteln, Schlackebildnern, Reduktionsmitteln, Entschwefelungsmitteln usw., wobei diese Zuschlagstoffe automatisch oder manuell zugegeben werden. Weiterhin kann die Schlacke durch Zugabe von Sauerstoff oder durch Spülen mit einem Inertgas wie z.B. Argon behandelt werden. Der Flüssigstahl kann in der Pfanne elektromagnetisch gerührt werden, außerdem kann ihm über Kohleelektroden elektrische Energie zugeführt werden. Der von den Elektroden zur Schmelze verlaufende Lichtbogen bewirkt das Schmelzen der Legierungselemente und ermöglicht die thermische Konditionierung der Schmelze.

Um aus der Schmelze eine bestimmte Stahlgüte mit festgelegten Werkstoffeigenschaften wie Festigkeit, Zähigkeit, Härte, Kor-

rosionsbeständigkeit usw. herzustellen, ist die Zugabe von metallischen und nicht metallischen Legierungselementen und Zuschlägen erforderlich. Zu diesem Zweck werden mathematische Modelle benutzt, die ausgehend von einer aktuellen Analyse der Schmelze die Stoffzusammensetzung der erforderlichen Legierungselemente und Zuschläge berechnen, um eine ganz bestimmte Stahlqualität zu erhalten. Auf diese Weise werden die Mengenanteile der metallischen und nicht metallischen Elemente in einer definierten Bandbreite eingestellt. Zur Beurteilung der zu erwartenden Werkstoffeigenschaften werden in einer Qualitätsstelle weitere Festigkeitsformeln angewendet, die die Wechselwirkungen zwischen den Legierungselementen und Zuschlagstoffen in der Schmelze berücksichtigen. Diese Formeln beruhen zumeist auf Erfahrungen. In konventionellen Werken, die aus dem Stahlwerk, dem Pfannenofen und der Stranggießanlage bestehen, werden derartige Berechnungen der Wechselwirkungen der Zuschlagstoffe und Legierungselementen allenfalls in Qualitätsstellen offline durchgeführt. Die in der Literatur angegebenen Festigkeitsformeln und Summenformeln sind vereinfachte Modelle für die komplexen Wechselwirkungen der Legierungselemente und Zuschläge, die einen Einfluss auf die Werkstoffeigenschaften des vergossenen Stahls haben.

In Dünnbandgießanlagen werden zumeist Stahlbänder mit einer Banddicke bis zu 10 mm hergestellt. Die Konditionierung der Schmelze erfolgt analog wie in konventionellen Anlagen im Anschluss an eine Analyse. Man hat jedoch herausgefunden, dass bei Dünnbandgießanlagen die Vergießbarkeit des Flüssigstahls sehr viel problematischer als in konventionellen Gießanlagen ist, z.B. in kontinuierlichen Stranggießanlagen für Brammen.

Flüssigstahl wird als nicht vergießbar bezeichnet, wenn das vergossene Band z.B. beim Vergießen in der Dünnbandgießanlage reißt, das gegossene Material Oberflächenfehler oder Strukturfehler allgemeiner Art aufweist und Anlagenstörungen als Folge des nicht vergießbaren Flüssigstahls verursacht, z.B. Kleben auf den Gießrollen usw. Bisher wurde versucht, diese

im Zusammenhang mit der Vergießbarkeit stehenden Probleme im Wesentlichen in der Dünnbandgießanlage selbst zu lösen. Diese Versuche waren jedoch nur teilweise erfolgreich, da sich viele Schmelzen als nicht vergießbar erwiesen.

5

Der Erfindung liegt daher das Problem zugrunde, das Verfahren zur Vorhersage und Steuerung der Vergießbarkeit von Flüssigstahl so zu verbessern, dass die Fehlerquote signifikant verringert wird.

10

Zur Lösung dieses Problems ist bei einem Verfahren der eingangs genannten Art erfindungsgemäß vorgesehen, dass die Vergießbarkeit beeinflussende Wechselwirkungen der Legierungs- und/oder der Zuschlagelemente bei der Legierungsrechnung als

15

Zusatzbedingungen berücksichtigt werden.

20

Der Erfindung liegt die überraschende Erkenntnis zugrunde, dass Wechselwirkungen zwischen den Legierungs- und/oder Zuschlagelementen existieren, die nicht nur für die mechanischen Eigenschaften sondern auch für die Vergießbarkeit der Schmelze relevant sind. Es handelt sich dabei um neue und andere Wechselwirkungen, die unabhängig von den bekannten, bisher berücksichtigten Wechselwirkungen sind. Erfindungsgemäß müssen in der Legierungsrechnung einerseits die herkömmlichen Wechselwirkungen wie bisher berücksichtigt werden, das heißt die Mengenanteile der einzelnen Legierungselemente und Zuschlagstoffe müssen innerhalb vorgegebener gültiger Wertebereiche liegen. Zusätzlich müssen die weiteren Bedingungen berücksichtigt werden, die aus den Wechselwirkungen abgeleitet werden, die einen Einfluss auf die Vergießbarkeit haben.

30

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren hat es sich als besonders günstig herausgestellt, dass jeweils wenigstens zwei Legierungselemente und/oder Zuschlagstoffe zum Ermitteln des Einflusses ihrer Mengenanteile auf die Vergießbarkeit zueinander in Beziehung gesetzt werden. Basierend auf einer Datensammlung bereits vergossener Schmelzen werden jeweils zwei Stoffe

35

in einem x-y-Koordinatensystem zueinander in Beziehung gesetzt. Auf den Achsen werden die relativen Mengenanteile zum Beispiel in Prozent oder in PPM der Schmelzen aufgetragen. Zusätzlich wird für jedes Legierungselement beziehungsweise

5 jeden Zuschlagstoff ein Toleranzband in Form von achsparallelen Geraden eingezeichnet, die jeweils den Minimalwert und den Maximalwert für das Element angeben. Ohne Berücksichtigung der Wechselwirkungen ergibt sich eine rechteckige Schnittmenge, die durch die sich schneidenden Geraden-

10 abschnitte definiert wird. Zusätzlich werden die aktuellen Mengenanteile der beiden dargestellten Legierungselemente in das Koordinatensystem eingetragen, wobei dieser Momentanwert durch einen Punkt symbolisiert wird. In der Grafik ist es dann sofort ersichtlich, ob die Schmelze innerhalb des Toleranzbereichs liegt oder nicht. Um eine vergießbare Schmelze

15 zu erhalten, genügt es jedoch nicht, dass die Schmelze innerhalb des zulässigen Wertebereichs liegt. Erfindungsgemäß müssen diejenigen Wechselwirkungen, die einen Einfluss auf die Vergießbarkeit der Schmelze haben, zusätzlich berücksichtigt werden. Um die Datensammlung der Schmelzen berücksichtigen zu

20 können ist bei dem erfindungsgemäßen Verfahren vorgesehen, dass jeder vergossenen Schmelze die Information "vergießbar" oder "nicht vergießbar" zugeordnet ist.

Anhand dieser Informationen ist bei dem erfindungsgemäßen Verfahren vorgesehen, dass basierend auf der Datensammlung vergossener Schmelzen und den zueinander in Beziehung gesetzten Legierungselementen und/oder Zuschlagstoffen wenigstens ein zulässiger Wertebereich für die Mengenanteile der Legierungselemente und/oder Zuschlagstoffe definiert wird, innerhalb dem eine vergießbare Schmelze erwartet wird. Dieser zulässige Wertebereich ist eine Teilmenge des zuvor erwähnten Wertebereichs, bei dem lediglich diejenigen Wechselwirkungen berücksichtigt werden, die einen Einfluss auf die Werkstoffeigenschaften haben. Es hat sich jedoch herausgestellt, dass

30 der erste, größere Wertebereich nicht vollständig ausgenutzt werden kann, da es wegen der Wechselwirkungen, die einen Ein-

35

fluss auf die Vergießbarkeit haben, in vielen Fällen zu Problemen kommt, so dass die Schmelze nicht vergießbar ist. Daher muss der Wertebereich, der die zulässigen Mengenanteile der einzelnen Legierungselemente und Zuschlagstoffe angibt, unter Berücksichtigung der Datensammlung bereits vergossener Schmelzen angepasst, das heißt verkleinert werden. Berücksichtigt man die Datensammlung, wobei jeder Schmelze die Information "vergießbar" oder "nicht vergießbar" zugeordnet ist, so kann man bestimmte Wertebereiche als zulässig definieren, in denen diejenigen Schmelzen liegen, die sich in der Vergangenheit als vergießbar herausgestellt haben.

Um den Rechenaufwand möglichst gering zu halten kann es bei dem erfindungsgemäßen Verfahren vorgesehen sein, dass der zulässige Wertebereich für die Mengenanteile als Schnittmenge einer Mehrzahl von Ungleichungen festgelegt wird. Durch eine Ungleichung kann die gesamte x-y-Fläche des Koordinatensystems in zwei Teile, nämlich einen gültigen und einen ungültigen Bereich geteilt werden. Grafisch entspricht eine Fläche auf einer Seite einer Geraden einer Ungleichung. Zusätzlich können die Koordinatenachsen zur Festlegung zulässiger Wertebereiche benutzt werden, da die Legierungselemente jeweils nur positive Zahlen annehmen können, muss nur der erste Quadrant betrachtet werden.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird es im Allgemeinen erforderlich sein, den zulässigen Wertebereich als Schnittmenge mehrerer sich schneidender Geraden festzulegen. Sofern die Achsen des Koordinatensystems nicht berücksichtigt werden, sind wenigstens drei Geraden erforderlich, um einen Wertebereich eindeutig zu definieren. In der Praxis hat es sich herausgestellt, dass für eine sinnvolle Festlegung des Wertebereichs häufig mehr als drei Ungleichungen erforderlich sind, insbesondere vier.

Das erfindungsgemäße Verfahren kann besonders schnell und teilweise automatisch durchgeführt werden, wenn die Wechsel-

wirkungen der Legierungs- und/oder Zuschlagelemente als mathematische Modelle in einem Rechnersystem implementiert werden. Die Berechnung und graphische Darstellung der Wertebereiche benötigt vergleichsweise wenig Rechenzeit, so dass unmittelbar nach der Durchführung einer Schmelzenanalyse festgestellt werden kann, ob die Mengenanteile der einzelnen Legierungselemente und Zuschlagstoffe in dem zulässigen Wertebereich liegen oder ob weitere Behandlungsschritte erforderlich sind. Gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung kann es auch vorgesehen sein, dass das erfindungsgemäße Verfahren zur Vorhersage und Steuerung der Vergießbarkeit von Flüssigstahl durch das Rechnersystem iterativ automatisch durchgeführt wird.

Es kann ebenfalls vorgesehen sein, dass bei dem erfindungsgemäßen Verfahren Fuzzy-Logic-Methoden für die mathematischen Modelle verwendet werden. Alternativ oder zusätzlich kann es vorgesehen sein, dass für die mathematischen Modelle neuronale Netze verwendet werden.

20

Um den Berechnungsaufwand zur Durchführung des Verfahrens in Grenzen zu halten, kann es vorgesehen sein, dass für die Legierungsrechnung eine Vorauswahl derjenigen Legierungs- und/oder Zuschlagelemente durchgeführt wird, die einen Einfluss auf die Vergießbarkeit der Schmelze haben. Untersuchungen haben ergeben, dass nur ein Teil der Legierungselemente die Vergießbarkeit beeinflusst. Falls eine Schmelze zehn Elemente aufweist, müsste man das erste Element mit den übrigen neun Elementen untersuchen. Das zweite Element mit acht Elementen usw., so dass eine große Zahl von Elementpaarungen zu berücksichtigen wäre. Es ist daher zweckmäßig, nur solche Legierungselemente beziehungsweise Paare von Legierungs- und/oder Zuschlagelementen zu berücksichtigen, die sich tatsächlich auf die Vergießbarkeit der Schmelze auswirken. Auf diese Weise kann die Anzahl der zu berücksichtigenden Elementpaare beträchtlich reduziert werden. Dadurch verringert sich auch die Zahl der zu berücksichtigenden Ungleichungen

beziehungsweise Randbedingungen, was die Lösung der Gleichungssysteme erleichtert.

Gemäß einer Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens kann es
5 vorgesehen sein, dass in der Legierungsrechnung Wechselwirkungen zwischen den folgenden Legierungselementen und/oder Zuschlagstoffen berücksichtigt werden: C, Si, Mn, S, Al, N, Zn, O₂. Es wurde herausgefunden, dass die Beschränkung auf diese acht Legierungselemente beziehungsweise Zuschlagstoffe
10 ausreicht, um eine beträchtliche Verbesserung der Vergießbarkeit zu erzielen.

Das erfindungsgemäße Verfahren kann so ausgestaltet sein, dass in der Legierungsrechnung Wechselwirkungen der folgenden
15 Paare von Legierungselementen und/oder Zuschlagstoffen berücksichtigt werden: N/O₂, Zn/O₂, S/Zn, C/Zn, Mn/S, Mn/N, Si/C, Al/C, insbesondere Si/O₂, S/O₂, Al/O₂, S/C, N/C. Aus den erwähnten acht ausgewählten Legierungselementen lassen sich theoretisch 28 Paare kombinieren. Es hat sich jedoch gezeigt,
20 dass lediglich 13 dieser Paare einen Einfluss auf die Vergießbarkeit haben. Von diesen haben fünf Paare von Legierungselementen oder Zuschlagstoffen einen gravierenden Einfluss auf die Vergießbarkeit. Berücksichtigt man im Hinblick auf ein rationelles Verfahren lediglich diese fünf Paare, so lassen sich bereits ausgezeichnete Ergebnisse hinsichtlich der Vorhersage und Steuerung der Vergießbarkeit erzielen.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren kann vorgesehen sein, dass der eine vergießbare Schmelze ergebende zulässige Wertebereich für ein oder jedes Legierungselement beziehungsweise
30 einen oder jeden Zuschlagstoff und der in der Schmelze gemessene Ist-Wert gleichzeitig graphisch angezeigt werden. Der Ist-Wert kann in der Graphik als Punkt oder Kreuz oder dergleichen angegeben sein, so dass auf einen Blick erkennbar
35 ist, ob er innerhalb des zulässigen Wertebereichs liegt oder nicht. Diese graphische Darstellung wird für jedes der berücksichtigten Wertepaare angezeigt, so dass ein Bediener er-

kennt, ob sämtliche Randbedingungen, die einen Einfluss auf die Vergießbarkeit haben, erfüllt sind. Andernfalls erkennt er, bei welchen Legierungselementen eine weitere Behandlung erforderlich ist, z.B. durch weiteres Hinzufügen des Legierungselements. Zusätzlich kann es vorgesehen sein, dass der
5 zulässige Wertebereich für ein Legierungselement beziehungsweise einen Zuschlagstoff, der sich aus den gewünschten Werkstoffeigenschaften ergibt, angezeigt wird.

10 Es ist zweckmäßig, dass bei dem erfindungsgemäßen Verfahren nach einem an der Schmelze durchgeführten Behandlungsschritt ein aktualisierter Ist-Wert eines Legierungselements oder eines Zuschlagstoffs angezeigt wird. Auf diese Weise kann sofort überprüft werden, ob der Behandlungsschritt zu dem ge-
15 wünschten Erfolg geführt hat.

Ebenso kann es vorgesehen sein, dass nach mehreren an der Schmelze durchgeführten Behandlungsschritten die jeweiligen Ist-Werte eines Legierungselements oder eines Zuschlagstoffs
20 als Punkte angezeigt werden, die durch Geradenabschnitte miteinander verbunden sind.

Das erfindungsgemäße Verfahren kann besonders vorteilhaft bei einer Dünnbandgießanlage eingesetzt werden, die nach dem Zweirollengießverfahren arbeitet.

Ferner betrifft die Erfindung eine Steuerungseinrichtung für eine sekundärmetallurgische Anlage, insbesondere einen Pfannenofen, mit einem Mittel zum Analysieren der chemischen Zusammensetzung einer zu vergießenden Schmelze, einem Mittel
30 zur Durchführung einer Legierungsrechnung zur Bestimmung von Legierungselementen und/oder Zuschlagstoffen zur Erzielung bestimmter Werkstoffeigenschaften des Stahls und einem Mittel zum Festlegen von Fahrdiagrammen für die weitere Behandlung
35 der Schmelze.

Erfindungsgemäß ist die Steuerungseinrichtung zur Durchführung des beschriebenen Verfahrens ausgebildet.

Weitere Vorteile und Einzelheiten der Erfindung werden anhand eines Ausführungsbeispiels unter Bezugnahme auf die Zeichnungen beschrieben. Dabei zeigt:

Fig. 1 schematisch den Ablauf des erfindungsgemäßen Verfahrens;

Fig. 2 eine graphische Darstellung der Wertebereiche zweier Legierungselemente unter Berücksichtigung der Wechselwirkungen;

Fig. 3 ein Diagramm, das die Mengenanteile der Elemente Schwefel und Kohlenstoff und den vergießbaren Bereich zeigt; und

Fig. 4 ein Diagramm, das die Mengenanteile der Elemente Silizium und Sauerstoff und den vergießbaren Bereich zeigt.

Das in Fig. 1 dargestellte Diagramm zeigt schematisch den Ablauf des Verfahrens zur Vorhersage und Steuerung der Vergießbarkeit von Flüssigstahl.

Ausgangspunkt des Verfahrens ist eine Schmelzenanalyse zur Ermittlung der chemischen Zusammensetzung der zu vergießenden Schmelze. Die Schmelze befindet sich dabei in einem Pfannenofen, der einer Dünnbandgießanlage vorgeschaltet ist. In dem Pfannenofen findet die metallurgische Behandlung des Flüssigstahls statt, um die erforderlichen Werkstoffparameter einzustellen. Über Graphitelektroden kann der Schmelze elektrische beziehungsweise thermische Energie zugeführt werden, um bestimmte chemische Reaktionen auszulösen. Die Schmelze kann in dem Pfannenofen elektromagnetisch gerührt werden. Die Zugabe von Legierungselementen und Zuschlagstoffen wie Schlacken-

bildnern, Reduktionsmitteln, Entschwefelungsmitteln usw. erfolgt automatisch oder manuell. Ferner besteht die Möglichkeit, den Flüssigstahl durch ein Inertgas wie Argon zu spülen oder Sauerstoff zuzuführen.

5

Nach der Durchführung der Schmelzenanalyse wird eine Legierungsrechnung 1 vorgenommen, um metallische und nichtmetallische Legierungselemente in einer definierten Bandbreite einzustellen. Die Legierungsrechnung dient dazu, die Art und Menge der Zuschlagstoffe und Legierungselemente zu berechnen, damit die derzeit in dem Pfannenofen vorhandene Charge des Flüssigstahls so modifiziert und behandelt werden kann, dass sie den Anforderungen entspricht. Zunächst müssen die einzelnen Legierungselemente in dem richtigen Mengenverhältnis, das heißt in der richtigen Konzentration vorliegen, wobei für jedes Element Toleranzbänder mit einer unteren und oberen Grenze existieren. Zusätzlich werden bei diesem Verfahren Wechselwirkungen zwischen den Legierungselementen und Zuschlagstoffen berücksichtigt, die einen Einfluss auf die Vergießbarkeit haben. Die in der Legierungsrechnung 1 verwendeten mathematischen Modelle berücksichtigen diese Wechselwirkungen, so dass die Schmelze nach der Behandlung mit sehr großer Wahrscheinlichkeit vergießbar ist.

10
15
20

In der Vergangenheit wurde bei der Anwendung herkömmlicher Verfahren die Erfahrung gemacht, dass eine Schmelze zwar die Anforderung hinsichtlich der Werkstoffeigenschaften des fertigen Stahls erfüllt, allerdings traten z.B. Oberflächenfehler auf oder der Stahl klebte auf den Gießrollen fest, so dass die Schmelze als nicht vergießbar verworfen werden musste.

30

Nach der Durchführung der Legierungsrechnung 1 liegen Informationen über die Vergießbarkeit vor. Wenn berechnet wurde, dass die Schmelze vergießbar ist, wird das Verfahren durch die Ermittlung von Fahrdiagrammen 2 für den Elektroofen-Abstich und den Pfannenofen fortgesetzt. Wenn das Ergebnis

35

der Legierungsrechnung 1 "nicht vergießbar" lautet, müssen z.B. weitere Legierungselemente oder Zuschlagstoffe zugegeben werden oder es sind Behandlungsschritte wie die Zugabe eines Inertgases oder von Sauerstoff erforderlich. In Abhängigkeit
5 der Aussage über die Vergießbarkeit des Flüssigkeitsstahls werden die Fahrdiagramme für das Fahren des Pfannenofens ermittelt und es werden Vorgaben über die Zugabe von metallischen und nicht metallischen Zusätzen und die weitere Behandlung gemacht. Die Berücksichtigung der Wechselwirkungen, die
10 einen Einfluss auf die Vergießbarkeit haben, führt zu Zusatzbedingungen für die Fahrdiagramme oder zu einem Wechsel eines Fahrdiagramms. Die Fahrdiagramme werden für den Pfannenofen und die Sekundärmetallurgie ermittelt.

15 Diese Vorgehensweise ist vorteilhaft in Bezug auf die Selektierung der Schmelzen. Erweist sich eine Schmelze als nicht vergießbar oder wenn die Maßnahmen um die Vergießbarkeit herzustellen zu aufwendig sind, kann entschieden werden, die Schmelze zurückzuweisen. In diesem Fall müsste die Schmelze
20 im Stahlwerk nochmals behandelt werden. Bei dieser Vorgehensweise werden Fehlleistungskosten im Produktionsbetrieb vermieden und Ressourcen geschont.

Wenn erkannt wird, dass die Schmelze durch metallische oder nicht metallische Zusätze in einen vergießbaren Zustand gebracht werden kann und wenn dieses Vorgehen nicht zu aufwendig ist, dann kann mit den ermittelten Fahrdiagrammen für den Pfannenofen und die Sekundärmetallurgie die Vergießbarkeit der Schmelze erreicht werden. Auch in diesem Fall ergibt sich
30 der Vorteil der Vermeidung von Fehlleistungskosten bei der Produktion und eine Ressourcenschonung.

Wenn erkannt wird, dass die Schmelze vergießbar ist, kann die Schmelze mit dem für sie geplanten Fahrdiagramm im Pfannenofen behandelt werden und für die Dünnbandgießanlage freigegeben werden.
35

Erkennt man, dass die Schmelze unter Berücksichtigung der die Werkstoffeigenschaften betreffenden Wechselwirkungen metallurgisch noch günstiger eingestellt werden kann, kann dies unter Beibehaltung der Vergießbarkeit umgesetzt werden. Daraus ergibt sich der Vorteil, dass die Schmelze metallurgisch unter Berücksichtigung der Vergießbarkeit optimal eingestellt werden kann. Auch in diesem Fall werden Fehlleistungskosten bei der Produktion vermieden und Ressourcen geschont.

Wie in Fig. 1 zu erkennen ist, erhält man durch die Ermittlung der Fahrtdiagramme 2 Steuerungsparameter für die weitere Behandlung der Schmelze.

Fig. 2 zeigt eine graphische Darstellung der Wertebereiche zweier Legierungselemente unter Berücksichtigung der Wechselwirkungen, die einen Einfluss auf die Vergießbarkeit haben.

Die Wertebereiche für die Mengenanteile der Elemente x und y sind auf der x- beziehungsweise der y-Achse aufgetragen. Der Wertebereich jedes Elements wird von zwei achsparallelen Geraden begrenzt, die die minimale beziehungsweise maximale Konzentration des jeweiligen Stoffes in der Schmelze angeben. Sofern der Analysewert der Schmelze innerhalb der Schnittmenge dieser Geraden liegt, sind die Anforderungen an die Werkstoffeigenschaften erfüllt.

Es genügt jedoch nicht, lediglich die Anforderungen an die Werkstoffeigenschaften zu berücksichtigen. Zusätzlich müssen die Wechselwirkungen beachtet werden, die einen Einfluss auf die Vergießbarkeit haben. In Fig. 2 wird der vergießbare Bereich durch die Geradenabschnitte 3, 4, 5 dargestellt. Eine Schmelze, die einerseits die Anforderungen an die Werkstoffeigenschaften und andererseits die Anforderungen an die Vergießbarkeit erfüllt, muss in der Schnittmenge beider Flächen liegen. Dieser gültige Bereich 6 ist in Fig. 2 schraffiert dargestellt.

Aus einer Schmelzenanalyse ist ein Wert 7 bekannt, der die Bedingungen für den herkömmlichen Gießbetrieb erfüllt, da er innerhalb des Wertebereichs der Elemente x und y liegt, sofern die Werkstoffeigenschaften betroffen sind. Er liegt jedoch nicht innerhalb des gültigen Bereichs 6, so dass zu erwarten ist, dass diese Schmelze nicht vergießbar ist.

Die Analyse einer anderen Schmelze hat den Wert 8 geliefert, der innerhalb des gültigen Bereichs 6 liegt. Das bedeutet, dass einerseits die Anforderungen an die Werkstoffeigenschaften erfüllt sind, da die beiden Elemente x und y innerhalb der jeweiligen Toleranzbereiche liegen, zusätzlich ist auch die Vergießbarkeit gegeben, da der Wert 8 innerhalb der Geradenabschnitte 3, 4, 5 liegt. Soweit diese Elemente x und y betroffen sind, kann die Schmelze vergossen werden.

Diese, anhand der Elemente x und y exemplarisch erläuterte Untersuchung ist für sämtliche relevanten Wertepaare durchzuführen, die alle innerhalb des gültigen Wertebereichs liegen müssen. Es sind zumindest die folgenden Wertepaare zu überprüfen: Si/O₂, S/O₂, Al/O₂, S/C, N/C. Wenn die Untersuchung dieser Bedingungen zu dem Ergebnis führt, dass alle Elemente innerhalb der gültigen Bereiche liegen, ist die Schmelze mit sehr großer Wahrscheinlichkeit vergießbar. Falls irgendein Wert nicht innerhalb des gültigen Bereichs liegt, ist ein weiterer Behandlungsschritt erforderlich, z.B. durch die Zugabe eines Legierungselements. Es ist jedoch zu beachten, dass bei der Zugabe eines Legierungselements auch die Mengenteile beziehungsweise Konzentrationen der anderen zu berücksichtigenden Legierungselemente und Zuschlagstoffe beeinflusst werden. Diese Zusammenhänge sind im Allgemeinen nicht linear und komplex. Die mathematischen Modelle, die diese Wechselwirkungen, die einen Einfluss auf die Vergießbarkeit haben, berücksichtigen, umfassen daher Methoden wie neuronale Netze oder Fuzzy-Logic. Im Allgemeinen wird daher eine iterative Berechnung beziehungsweise eine Optimierungsrechnung durchgeführt, um das Ziel mit der minimalen Menge an Legie-

rungelementen beziehungsweise möglichst kostengünstig zu erreichen.

Fig. 3 zeigt ein Diagramm der Mengenanteile der Elemente Schwefel und Kohlenstoff. Auf der x-Achse ist die Konzentration von Kohlenstoff in der Schmelze aufgetragen, auf der y-Achse die Konzentration des Schwefels. Die in Fig. 3 gezeigte Dreieckfläche 9 zeigt den Bereich der Vergießbarkeit des Elementpaares Schwefel/Kohlenstoff. Der erste Analysenwert 10 liegt außerhalb der Dreieckfläche 9, das heißt die Schmelze ist in diesem Zustand nicht vergießbar. Daher wird eine Behandlung der Schmelze vorgenommen, etwa durch Zugabe eines Zuschlagstoffs, um den Mengenanteil von Kohlenstoff zu erhöhen und den Anteil des Schwefels zu verringern. Nach dieser Behandlung wird wieder eine Analyse durchgeführt und es ergibt sich der Analysewert 11. Obwohl die Anteile dieser beiden Elemente jetzt in der Nähe des Bereichs der Vergießbarkeit liegen, ist noch ein zweiter Behandlungsschritt erforderlich, bis sich der Analysenwert 12 ergibt. Der Analysenwert 12 liegt innerhalb der Dreieckfläche 9, also innerhalb des vergießbaren Bereichs. Gleichzeitig muss jedoch auch sichergestellt werden, dass die übrigen zu berücksichtigenden Elemente beziehungsweise Paare von Elementen innerhalb ihrer gültigen Bereiche liegen.

Fig. 4 zeigt die Mengenanteile der Elemente Silizium und Sauerstoff und den vergießbaren Bereich.

Anders als in Fig. 3 wird der vergießbare Bereich 13 in Fig. 4 durch mehrere Geradenabschnitte angegeben, die keine geschlossenen Fläche bilden. In manchen Fällen kann der vergießbare Bereich auch durch Parabelabschnitte oder Abschnitte trigonometrischer Funktionen angegeben werden. Es ist jedoch anzustreben, die gültigen Bereiche durch Geradenabschnitte zu definieren, um den Berechnungsaufwand in Grenzen zu halten.

Der erste Analysenwert 14 liegt außerhalb des vergießbaren Bereichs 13. Nach der Behandlung der Schmelze wurde der Analysenwert 15 ermittelt, bei dem der Sauerstoffgehalt zwar erhöht war, jedoch war dieser zu hoch, so dass der Wert 15 wieder außerhalb des vergießbaren Bereichs 13 lag. Erst nach einem weiteren Behandlungsschritt wurde der Analysenwert 16 gemessen, der die Bedingungen für die Elemente Silizium und Sauerstoff einhält.

- 10 Bei dem Verfahren ist vorgesehen, dass dem Bediener auf einem Display die Diagramme für die fünf wichtigsten Paare von Elementen gleichzeitig dargestellt werden. Zusätzlich können die Analysenwerte für einzelne Legierungselemente oder Zuschlagstoffe als Zahlenwerte in einer Tabelle dargestellt werden.
- 15 Auf diese Weise kann der Bediener auf einen Blick sehen, welche Werte bereits in Ordnung sind und welche eine weitere Behandlung erfordern.

- Nach jeder Schmelze werden die gemessenen Werte dieser
- 20 Schmelze in einer Datenbank abgelegt, so dass die mathematischen Modelle auf eine ständig wachsende Datenbasis zurückgreifen können, was die Vorhersagewahrscheinlichkeit erhöht.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Vorhersage und Steuerung der Vergießbarkeit von Flüssigstahl durch Analysieren der chemischen Zusammensetzung einer zu vergießenden Schmelze, Durchführen einer Legierungsrechnung und Bestimmen von Legierungselementen und/oder Zuschlagstoffen zur Erzielung bestimmter Werkstoffeigenschaften des Stahls und Festlegen von Fahrdiagrammen für die weitere Behandlung der Schmelze, d a d u r c h
5 g e k e n n z e i c h n e t , dass die Vergießbarkeit beeinflussende Wechselwirkungen der Legierungs- und/oder der Zuschlagselemente bei der Legierungsrechnung als Zusatzbedingungen berücksichtigt werden.
- 15 2. Verfahren zur Vorhersage und Steuerung der Vergießbarkeit von Flüssigstahl nach Anspruch 1, d a d u r c h
g e k e n n z e i c h n e t , dass jeweils wenigstens zwei Legierungselemente und/oder Zuschlagstoffe, basierend auf einer Datensammlung vergossener Schmelzen, zum Ermitteln des
20 Einflusses ihrer Mengenanteile auf die Vergießbarkeit zueinander in Beziehung gesetzt werden.
3. Verfahren zur Vorhersage und Steuerung der Vergießbarkeit von Flüssigstahl nach Anspruch 2, d a d u r c h
g e k e n n z e i c h n e t , dass jeder vergossenen Schmelze der Datensammlung die Information "vergießbar" oder "nicht vergießbar" zugeordnet ist.
- 30 4. Verfahren zur Vorhersage und Steuerung der Vergießbarkeit von Flüssigstahl nach Anspruch 2 oder 3, d a -
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass basierend auf der Datensammlung vergossener Schmelzen und den zueinander in Beziehung gesetzten Legierungselementen und/oder Zuschlagstoffen wenigstens ein zulässiger Wertebereich für
35 die Mengenanteile der Legierungselemente und/oder Zuschlagstoffe definiert wird, innerhalb dem eine vergießbare Schmelze erwartet wird.

5. Verfahren zur Vorhersage und Steuerung der Vergießbarkeit von Flüssigstahl nach Anspruch 4, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass der zulässige Wertebereich als Schnittmenge einer Mehrzahl von Ungleichungen festgelegt wird.
6. Verfahren zur Vorhersage und Steuerung der Vergießbarkeit von Flüssigstahl nach Anspruch 4 oder 5, d a - d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass der zulässige Wertebereich als Schnittmenge mehrerer sich schneidender Geraden festgelegt wird.
7. Verfahren zur Vorhersage und Steuerung der Vergießbarkeit von Flüssigstahl nach einem der vorangehenden Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die Wechselwirkungen der Legierungs- und/oder Zuschlagelemente als mathematische Modelle in einem Rechnersystem implementiert werden.
8. Verfahren zur Vorhersage und Steuerung der Vergießbarkeit von Flüssigstahl nach Anspruch 7, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass für die mathematischen Modelle Fuzzy-Logic-Methoden verwendet werden.
9. Verfahren zur Vorhersage und Steuerung der Vergießbarkeit von Flüssigstahl nach Anspruch 7 oder 8, d a - d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass für die mathematischen Modelle neuronale Netze verwendet werden.
10. Verfahren zur Vorhersage und Steuerung der Vergießbarkeit von Flüssigstahl nach einem der vorangehenden Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die Legierungsrechnung als Iterationsverfahren durchgeführt wird.
11. Verfahren zur Vorhersage und Steuerung der Vergießbarkeit von Flüssigstahl nach einem der vorangehenden Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass für die Legierungsrechnung eine Vorauswahl derjenigen Legierungs- und/oder Zuschlagelemente durchgeführt wird, die einen Einfluss auf die Vergießbarkeit der Schmelze haben.

5

12. Verfahren zur Vorhersage und Steuerung der Vergießbarkeit von Flüssigstahl nach einem der vorangehenden Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass in der Legierungsrechnung Wechselwirkungen zwischen den folgenden Legierungselementen und/oder Zuschlagstoffen berücksichtigt werden: C, Si, Mn, S, Al, N, Zn, O₂.

10

13. Verfahren zur Vorhersage und Steuerung der Vergießbarkeit von Flüssigstahl nach einem der vorangehenden Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass in der Legierungsrechnung Wechselwirkungen der folgenden Paare von Legierungselementen und/oder Zuschlagstoffen berücksichtigt werden: N/O₂, Zn/O₂, S/Zn, C/Zn, Mn/S, Mn/N, Si/C, Al/C, insbesondere Si/O₂, S/O₂, Al/O₂, S/C, N/C.

15

20

14. Verfahren zur Vorhersage und Steuerung der Vergießbarkeit von Flüssigstahl nach einem der Ansprüche 4 bis 13, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass der eine vergießbare Schmelze ergebende zulässige Wertebereich für ein oder jedes Legierungselement bzw. einen oder jeden Zuschlagstoff und der in der Schmelze gemessene Ist-Wert gleichzeitig grafisch angezeigt werden.

30

15. Verfahren zur Vorhersage und Steuerung der Vergießbarkeit von Flüssigstahl nach Anspruch 14, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass der zulässige, sich aus den gewünschten Werkstoffeigenschaften ergebende Wertebereich für ein oder jedes Legierungselement bzw. einen oder jeden Zuschlagstoff und der in der Schmelze gemessene Ist-Wert gleichzeitig grafisch angezeigt werden.

35

16. Verfahren zur Vorhersage und Steuerung der Vergießbarkeit von Flüssigstahl nach Anspruch 14 oder 15, da -
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass nach einem an der Schmelze durchgeführten Behandlungsschritt ein aktualisierter Ist-Wert eines Legierungselements oder eines Zuschlagstoffs angezeigt wird.

17. Verfahren zur Vorhersage und Steuerung der Vergießbarkeit von Flüssigstahl nach Anspruch 16, d a d u r c h
10 g e k e n n z e i c h n e t , dass nach mehreren an der Schmelze durchgeführten Behandlungsschritten die jeweiligen Ist-Werte eines Legierungselements oder eines Zuschlagstoffs durch Punkte dargestellt werden, die durch Geradenabschnitte miteinander verbunden sind.

18. Verfahren zur Vorhersage und Steuerung der Vergießbarkeit von Flüssigstahl nach einem der vorangehenden Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass es bei einer Dünnbandgießanlage, insbesondere nach dem Zweirohlengießverfahren, eingesetzt wird.

19. Steuerungseinrichtung für eine sekundärmetallurgische Anlage, insbesondere einen Pfannenofen, mit einem Mittel zum Analysieren der chemischen Zusammensetzung einer zu vergießenden Stahlschmelze, einem Mittel zur Durchführung einer Legierungsrechnung zur Bestimmung von Legierungselementen und/oder Zuschlagstoffen zur Erzielung bestimmter Werkstoffeigenschaften des Stahls und einem Mittel zum Festlegen von Fahrdiagrammen für die weitere Behandlung der Schmelze,
30 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass sie zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 18 ausgebildet ist.

Zusammenfassung

Verfahren zur Vorhersage und Steuerung der Vergießbarkeit von Flüssigstahl

5

10

15

Verfahren zur Vorhersage und Steuerung der Vergießbarkeit von Flüssigstahl durch Analysieren der chemischen Zusammensetzung einer zu vergießenden Schmelze, Durchführen einer Legierungsrechnung und Bestimmen von Legierungselementen und/oder Zuschlagstoffen zur Erzielung bestimmter Werkstoffeigenschaften des Stahls und Festlegen von Fahrdiagrammen für die weitere Behandlung der Schmelze, wobei die Vergießbarkeit beeinflussende Wechselwirkungen der Legierungs- und/oder der Zuschlag-elemente bei der Legierungsrechnung als Zusatzbedingungen berücksichtigt werden.

Fig. 2

FIG 1

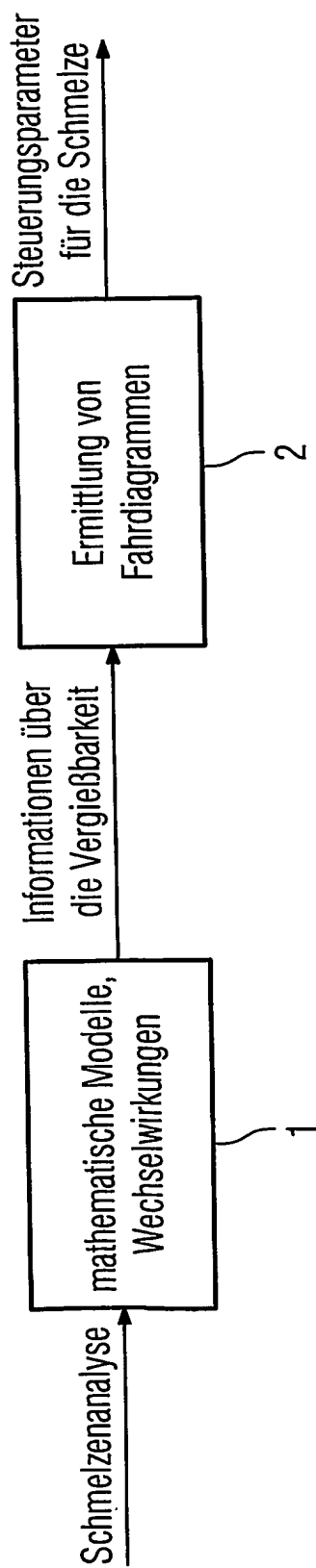


FIG 2

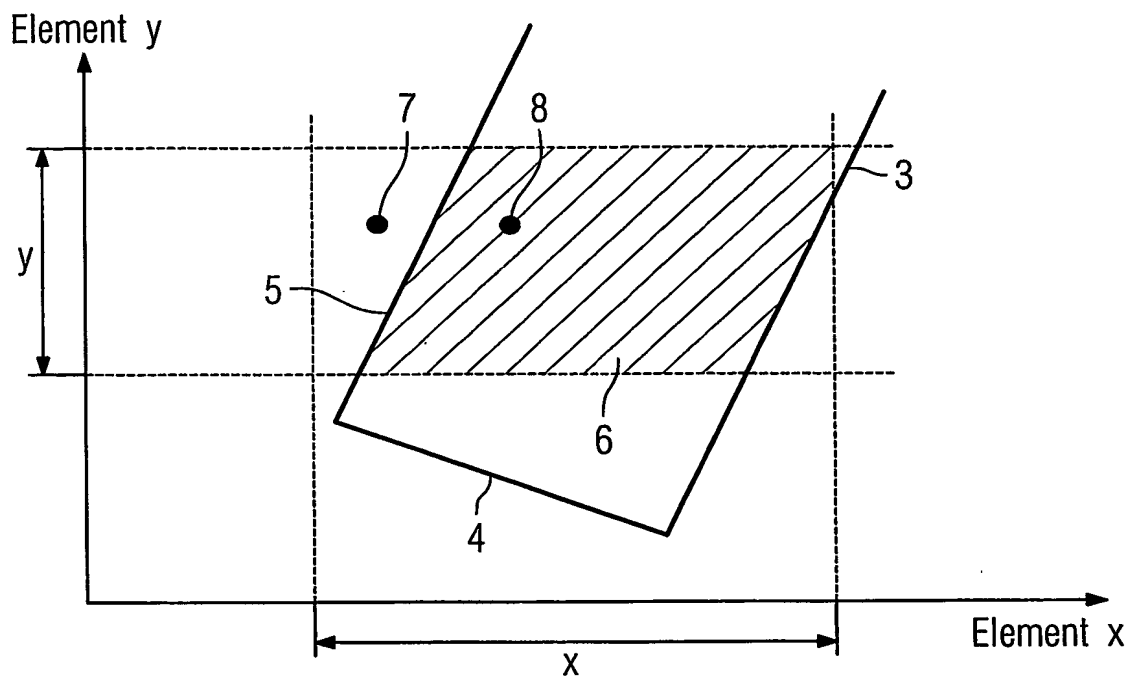


FIG 3

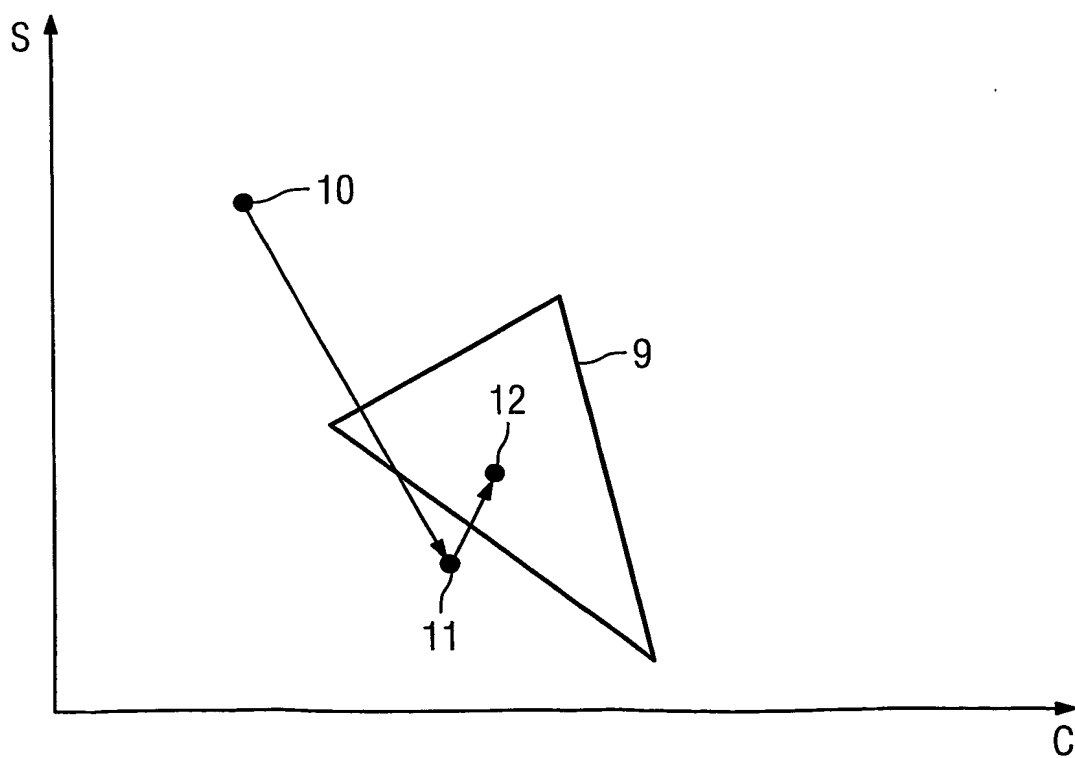
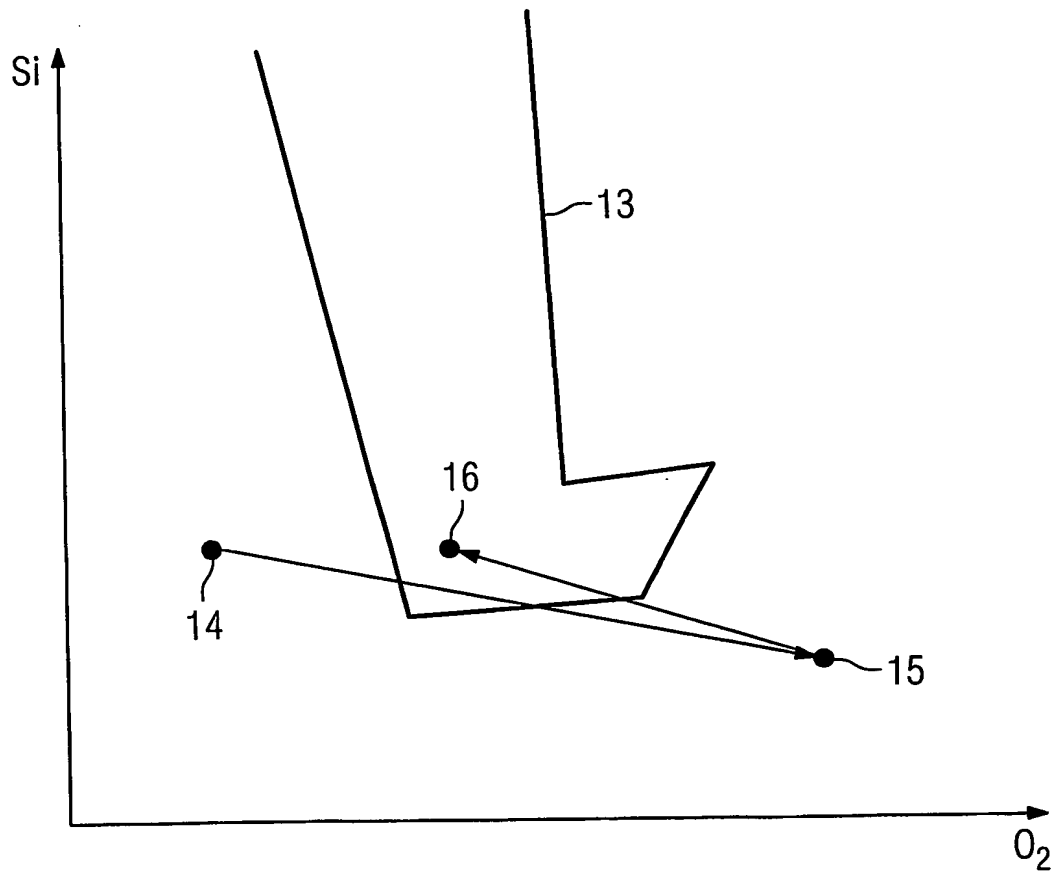


FIG 4



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER: _____**

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.